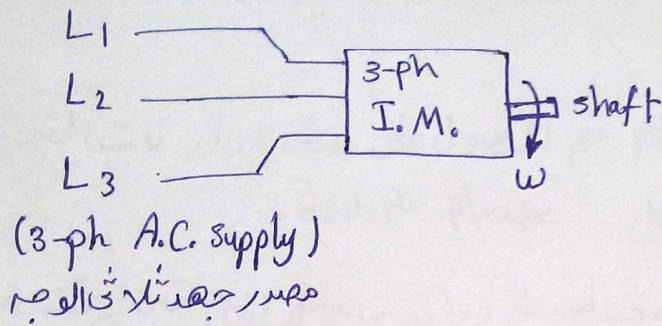


Chapter (4) 3-ph Induction Motors



كأي آلة يتكون هذا المحرك من عضوين ثابت وعضو متحرك:

تركيب الآلة:

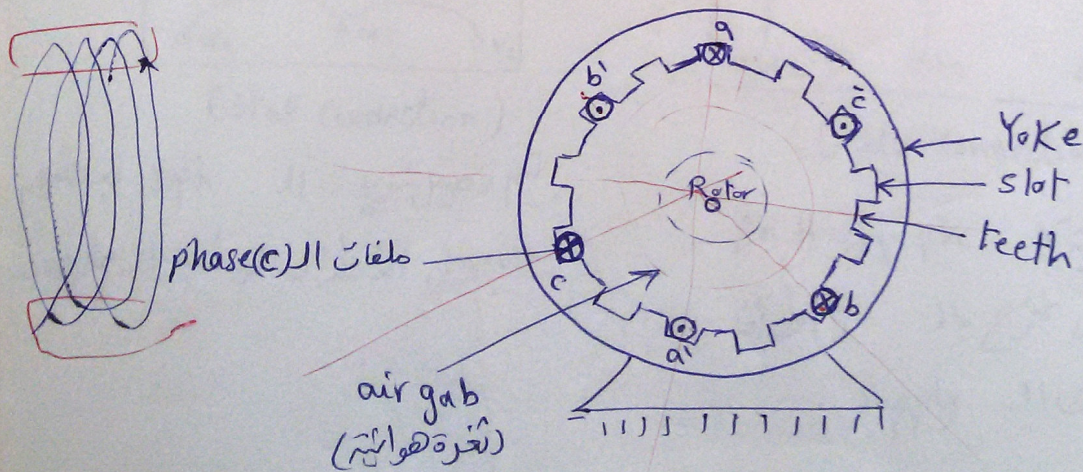
① العضو الثابت (stator)

- عبارة عن شرائح مجمعة مع بعضها البعض تكون الجزء الثابت للمحرك وذلك لتقليل تأثير التيارات الدوامية التي تترافق مع الآلة مما تسبب ارتفاع درجة حرارتها.

- يتكون من مجموعة من المجاري أو (slots) لوضع ملفات ال stator بداخلهم هذه الملفات توضع بحيث تكون 3-ph R.M.F عند توصيلها بمصدر جهد 3-ph

Rotating Magnetic Field

- كل phase من ال 3-ph يوجد بينها وبين الأخرى زاوية 120° ويتم تقسيم هذه المجاري على ال 3 phases لمعرفة نصيب كل phase من المجاري المتقاعة.



التيار داخل (x)

التيار خارج (o)

3-ph Ac. Stator بالمصدر ال - عند توصيل الملفات الموجودة في ال phase فيض له نفس المقار ولكن shifted by 120 phase فيض ال phase الأخرى.

- هذا الفيض الناتج من كل phase يتم الحصول على فيض دوار ثابت القيمة منه هو مجموع الفيض الناتج من كل phase على عدة .

- هذه الفيض تولد قوة دافعة متناوبة دوار سرعة ال (N) قيمته حسب العلاقة R.M.F

$$N_s = \frac{120 f}{P}$$

التردد frequency $f \rightarrow$
عدد الأقطاب $P \rightarrow$

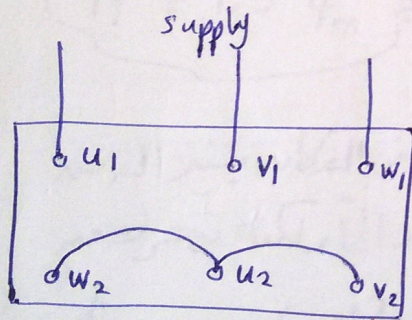
سرعة دوران المجال
المغناطيسي الناتج من
ملفات ال Stator
(rpm)

- بعد وضع ملفات ال Stator في أماكن يكون

عند 3-ph كل phase لل طرفين : هناك

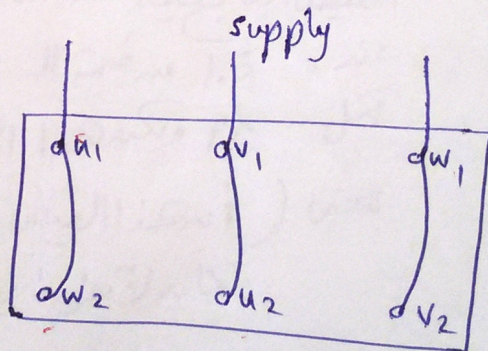
(7- أطراف) في ال Stator يتم جعلهم 3 فقط لتوصيلهم على مصدر الجهد

ال 3-ph وذلك عن طريق توصيلهم إما توصيلة (Star) أو (Delta)



(Star Connection)

يتم توصيل أطراف ال 3-ph ببعضهم
وتوصيل الأطراف الباقية بال supply



(Delta Connection)

يتم توصيل بداية كل phase بتالية ال phase
التي تليها من خرج بار 3 أطراف
المتبقية إلى ال supply .

اختلاف التوصيلة من star إلى Delta له أهمية فيما يخص عملية بدأت في
الآلة صممت لتسحب تياراً عاليه جداً فمعظم الآلات (المحركات) يتم
البدء بتوصيلة (Delta) ثم توصيلها (Star) بعد فترة زمنية محددة .

* Rotating MMF Generation *

The supply voltages are:

$$V_R = V_m \sin(\omega t)$$

$$V_Y = V_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_B = V_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

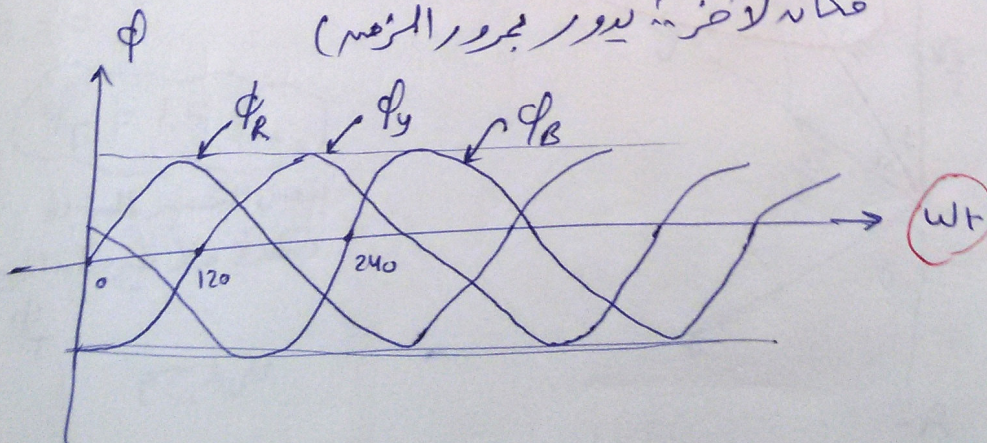
every phase generator produce its own flux ϕ :

$$\left. \begin{aligned} \phi_R &= \phi_m \sin(\omega t) \\ \phi_Y &= \phi_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ \phi_B &= \phi_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Total flux } \phi_T = \phi_R + \phi_Y + \phi_B$$

بعد جمع الثلاث مجالات ينتج أنه :-

$$\phi_T = 1.5 \phi_m \Rightarrow \text{الفليد الناتج حقيقته تكون عابته}$$

عند 1.5 من قيمة ϕ_m لكل ph
ولكن هذا الفليد يتغير في المكان يتغير الزمن
بمعنى (أنه هذا الفليد ثابت القيمة دائماً ولكنه يتحرك في
مكانه لأخره يدور بحور الزمن)



* تفسير دوران الفيض الكلي ونجات مقارنه دائماً *

at $wt = 0$

$\therefore \phi_R = \phi_m \sin(wt)$

$\therefore \phi_R = 0$

$\therefore \phi_y = \phi_m \sin(wt - 120)$

$\therefore \phi_y = -\frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m$

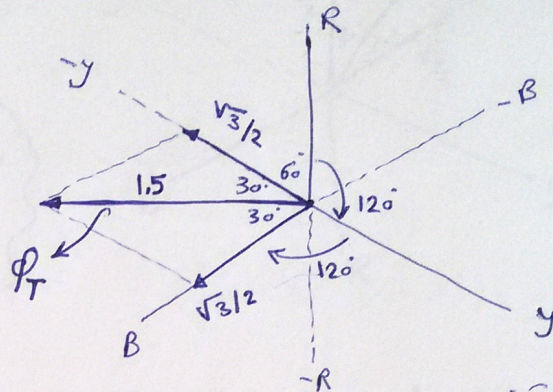
$\therefore \phi_B = \phi_m \sin(wt - 240)$

$\therefore \phi_B = \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m$

$\therefore \phi_T = \phi_R + \phi_B + \phi_y = 0 + \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m + \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m \rightarrow (X)$

$\therefore \phi_T = 1.5 \phi_m$

هناك فترتين رئيسيتين ونشوف الفيض
يتابع كل ϕ_m يكافئ ثم نجعلهم ليعمل
على الفيض الكلي ϕ_T



ممن تمام
(X)
ولكن الفيض المحصل الكلي لا بد من حسابه
من الاتجاه الصحيح \therefore لا بد من أخذ
الزوايا في الاعتبار كالآتي!

$\phi_T = \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m \cos 30 + \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m \cos 30$

$= 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m \cos 30 \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\therefore \phi_T = \frac{3}{2} \phi_m = 1.5 \phi_m$

التفسير

at $wt = 60$

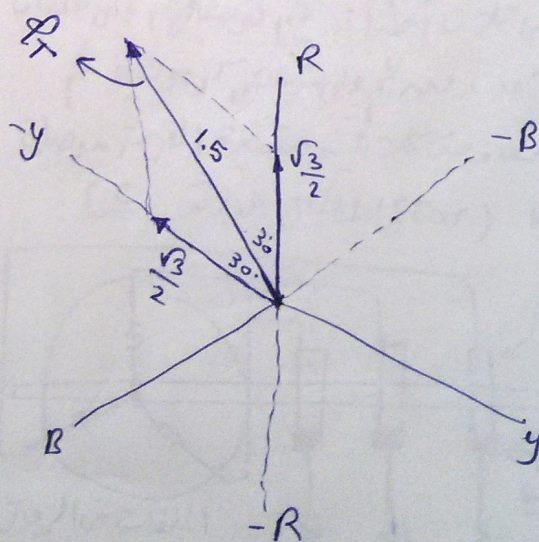
$\therefore \phi_R = \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m$, $\phi_y = -\frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m$

$\phi_B = 0$

$\therefore \phi_T = 1.5 \phi_m$

بنفس التفسير السابق
ولكن لاحظ تغير مكان المحاور
 ϕ_T

الآن



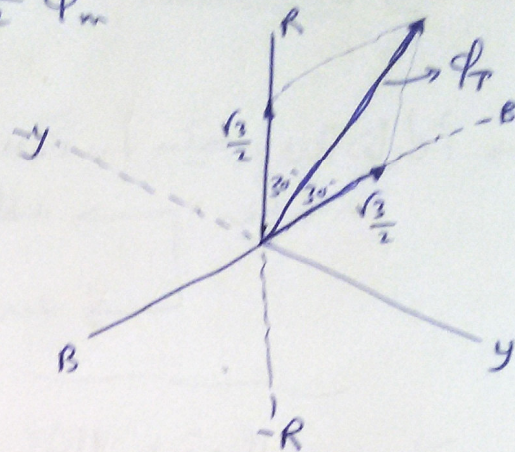
$$\omega t = 120^\circ$$

$$\therefore \phi_R = \frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m, \phi_Y = 0, \phi_B = -\frac{\sqrt{3}}{2} \phi_m$$

$$\therefore \phi_T = 1.5 \phi_m$$

ولكن اتجاهه يتغير

∴ بالفعل الفيض المفضل الناتج من ال 3 ph
يكونه مقدارة ثابتة طوال الوقت ($1.5 \phi_m$)
ولكنه يدور بمرور الزمن.

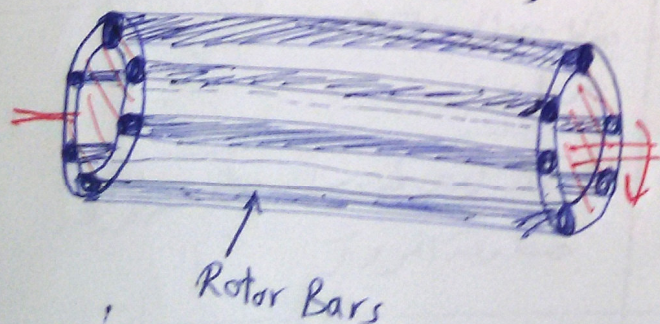


- لاحظنا أن ال ϕ_T يتحرك مع عقارب الساعة ∴ لعكس اتجاه دور ال ϕ_T يتم تبديل أحد ال phases مع الأخرى فقط فيدور ال ϕ_T في الاتجاه العكس لعقارب الساعة.

نقص السنجاب

① Squirrel Cage Rotor

يكونه الدوتر عبارة عن أسطوانة مشبكة على
صور دوران مصنوعة من الحديد وأيضاً
شرائح لتقليل التيارات الدوامية وتسمى Bars
ومصنوعة من الحديد أو النحاس توصل من يمين
الدوتر إلى اليسار.

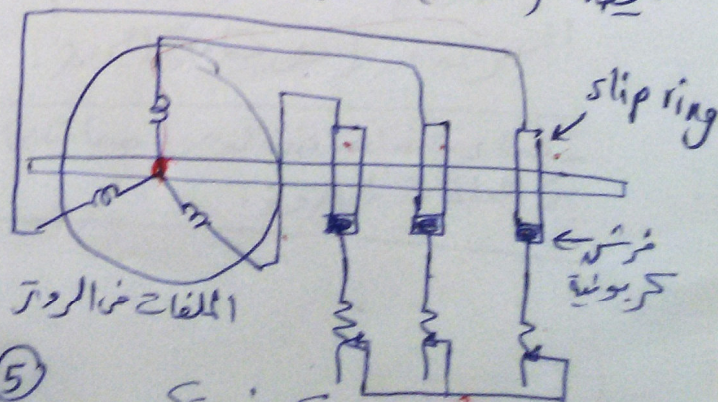


② العضو المتحرك (Rotor)

هناك نوعين من الدوتر في هذه الآلة:

② Slip Ring wound Rotor

مثل الدوتر في الآلة ال D.C عبارة عن
حباتي توضع في الموصلات ال 3-ph
(يمكنه توصيلهم (Star) ~~أو~~ ثم
يتبقى ثلاث أطراف يتم توصيلهم على حلقات
إتزان وبعدهم على فرش كاربونية ثم
إلى مقاومة ثلاثية متغيرة القيمة موصولة
أيضاً (Star) لجعل الدوتر S.C.



⑤ مقاومة عبارة عن short circuit يمكنه أن يكون بدونه

المحرك به 9 أطراف : Rotor ← 3
 من نوع Wound Rotor ← 6 Stator (يكلم جملهم 3 بتوصيل)
 (Delta أو star)

→ أطراف الدوتر يمكن أن تكون shorted
 كطريقة ← مقاومة متغيرة (للتحكم بالسرعة كما هو موضح) نجعلها
 (Star Connected)
 ← عند طريقه يمكنه (S.C) فقط .

س: تفاوت بين الدوتر من النوع Squirrel والنوع Wound ?

Squirrel Cage	Wound Rotor
يكون الدوتر من مجموعة من ال Bars متصلة بداية ونهاية الدوتر .	يكون من 3 ملفات مثل ملفات ال Stator .
تصميمه سهل .	تصميمه معقد .
لا يمكن إضافة مقاومة خارجية له .	يمكن إضافة مقاومة إلى الدوتر من الخارج .
لا يوجد فيه حلقات انترلافة ولا فرش .	لا بد من وجود حلقات انترلافة وفرش .
تصميمه بسيط لذا فصيانه سهلة .	يحتاج لصيانة دورية بسبب الفرش الكربونية وطلاءات الانترلافة .
عمره رخيص .	عالي التكلفة .
يصل حوالي 95% من المحركات من الصناعات .	وجود محدود على تطبيقات معينة .
لا يمكن التحكم من سرعة سيرطيه مقاومة الدوتر	يمكن وضع مقاومة خارجية للتحكم السرعة سيرطيه مقاومة الدوتر .
كفاءته منخفضة عالية .	كفاءته منخفضة لوجود صفاة خارجية من الملفات في الدوتر .

فكرة العمل : عند توصيل مصدر جهد (3-ph A.C.) على أطراف ملفات ال Stator تتولد قوة دافعة مغناطيسية دوارة (Φ_p) تدور بسرعة التزامن ($N_s = \frac{120f}{P}$)
 عند الفيض الدوار تقطع الموصلات الموجودة في الدوار لو كان من النوع wound أو ال Bars لو كان من النوع squirrel وبعبارة الدوار shorted تتولد قوة دافعة كهربية على أطراف ملفات الدوار تمر فيه تيار هذا التيار مع الفيض الناتج من ال Stator يؤدي إلى تولد عزم يسبب دوران الدوار بنفس اتجاه دوران ال (Φ_p) الناتج من ال Stator ولكنه الدوار لا يدور بنفس سرعة التزامن (N_s) ولكنه هناك دائماً منه بيب سرعة دوران الدوار ال (N) وسيم سرعة دوران الفيض (N_s) وهي slip speed $\leftarrow (N_s - N)$.

$N_s \rightarrow$ سرعة دوران المجال المغناطيسي
 ال Stator

$N \rightarrow$ سرعة دوران الدوار

$N_s - N \rightarrow$ Relative speed between magnetic field and Rotor

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \rightarrow \text{slip} \quad (0 \rightarrow 1)$$

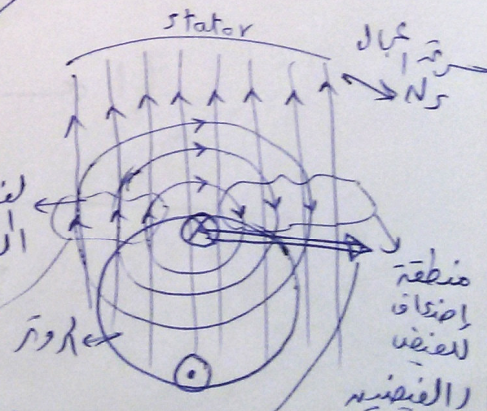
عندما تكون سرعة الآلة (دوران الدوار) يدور بنفس سرعة المجال ولهذا غير موجود له بيب آخر
 ال Induction machines

عندما تكون الآلة سريعة جداً أي أن الدوار لا يدور

$$N = N_s (1 - S)$$

سرعة الآلة (الدوار)

الناج من لورنتز نتيجة مرور تيار فيه



منطقة زيادة الفيض (الفيض من نفس الاتجاه) - اتجاه القوة التي تدفع الدوار إلى اليمين ولذا عزم جعل تدور.
 وجود قوة تؤثر على الدوار ولذا عزم جعل تدور.

$$N_s = \frac{120 f}{p} \quad ; f \rightarrow \text{supply frequency}$$

$$N_s - N = \frac{120 f_r}{p} \quad ; f_r : \text{rotor frequency}$$

$$\therefore S = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{120 f_r / p}{120 f / p} = \frac{f_r}{f}$$

$$\therefore \boxed{f_r = S f}$$

أي أنه تردد الدوارة صغير جداً ودائماً تيار ال supply ذو تردد

أعلى منه بكثير وبما أنه تردد الدوارة صغير جداً قد يصل إلى الصفر
أن يكون الجهد المتولد (D.C.) وبالتالي لا توجد تيارات دوامة أو تكون
صغيرة جداً وبالتالي يمكن أن يكون التردد صغيراً حسب عدد الأقطاب
عند المقطع إلى شرائح.

* Slip of I.M *

→ the difference between the synch. speed (N_s) and the actual speed of rotor (N) as a fraction of the synch. speed (N_s).

$$\boxed{\frac{N_s - N}{N_s} \times 100 = \text{Slip}}$$

Slip from (0 → 1)

* تأثير انزلاق في الدوارة *

⇒ at starting ($N=0$) / سرعة الدوارة = صفر
 ! يكون انزلاق $= 1$ معناه ان $f_r = f_s$ التردد في الدوارة = التردد في الدوارة
 ! كانه الآلة عبارة عن محول (تولد في الدوارة emf لا نفس تردد ان Stator)

⇒ at running ($N \neq 0$)
 تبدأ الآلة في الدوران ونسبة وجود تأخير لسرعة دوران الدوارة emf في الدوارة
 الفيزياء ان Stator (التي هو انزلاق) يبدأ تردد الدوارة في التقصير
 مما يؤثر على العناصر الموجودة في الدوارة

رأيت ان parameters التي ممكنة تتأثر بانزلاق أو التردد يعني؟

① ان emf المتولدة في الدوارة

$$E_{2r} = S E_2 \rightarrow \text{at standstill (لا يدور الدوارة)}$$

↓
slip

↙
at running (تدور الدوارة)

② $X_2 \leftarrow$ rotor reactance

$$X = 2\pi f L \quad \text{وذلك لأن (تتغير مع التردد)}$$

$$X_{2r} = S X_2 \rightarrow \text{منه السكون}$$

↙
منه الدوران

$$Z_2 = R_2 + j X_2 \rightarrow \text{منه السكون}$$

! يمكن القول بأنه

$$Z_{2r} = R_2 + j S X_2 \rightarrow \text{معادلة الدوارة عند الدوران}$$

$$Z_{2r} = \sqrt{R_2^2 + (S X_2)^2} \quad \text{او / phase}$$

⑤ تيار الروتر $I_2 \leftarrow$

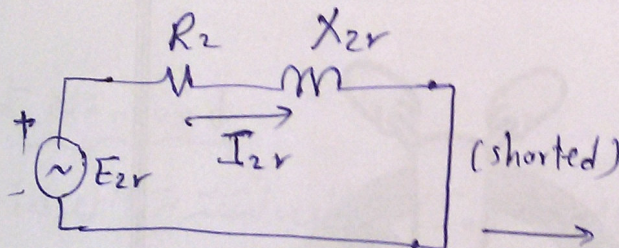
$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \quad A \quad (\text{عند السكون})$$

but at running لكن عند الحركة

$$I_{2r} = \frac{E_{2r}}{Z_{2r}} = \frac{s E_2}{\sqrt{R_2^2 + (s X_2)^2}} \quad A$$

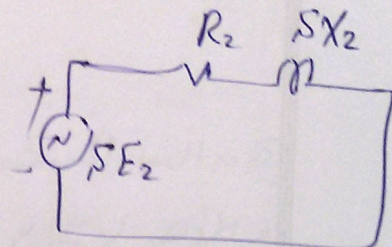
التيار I_{2r} والجهد المقول بالتيار E_{2r} بينهما زاوية هي ϕ_{2r} والتأخير
عن ال P.f. الخاص بالروتر عند الحركة.

∴ يمكن تمثيل دائرة الروتر كالآتي:



لوعاد زفيل بدلالة

ال مئاي وقيم ال standstill



* الدائرة المكافئة للمحرك الخشن $I.M.$ Equ. Circuit of

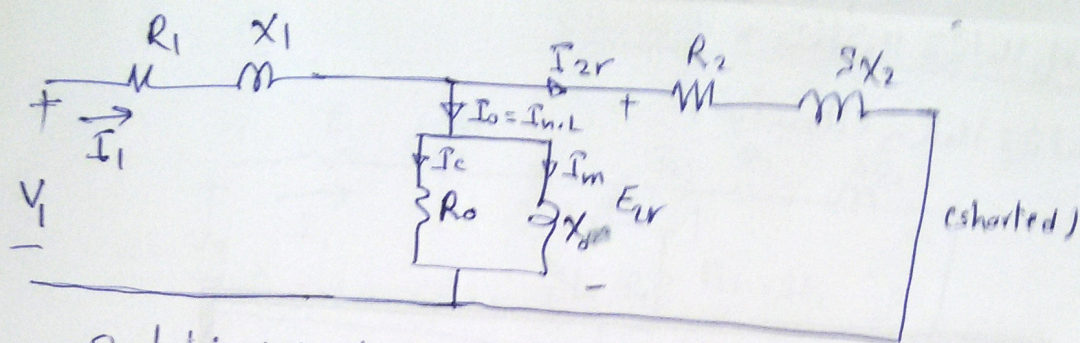
المحرك الخشن يمكن اعتباره كالمحول الكهربائي هاتماً مع الألفا

الإعتبار أنه ال (sec.) يتاح المحول هنا هو الروتر اللى بيدور بسرعة

(N) وفيه مئاي بينه سرعة الروتر وسرعة المجال الدوار ∴

كل صاعبة من المحول هنا كانه الروتر دائرة تعتمد على ال مئاي

لأنه بيدور.



دي الدائرة المبينة قبل تحديد إلى الصورة التي نعرفها لسه.

- $R_1 \rightarrow$ stator resistance per phase.
 $X_1 \rightarrow$ " reactance " "
 $R_2 \rightarrow$ Rotor resistance " "
 $X_{2r} \rightarrow$ " reactance " " at running.
 $E_r \rightarrow$ rotor emf at running per phase

at No-load

يكون التيار المسحوب من المصدر (I_o) المطلوب لتغذية الـ iron losses
 و الأهم لا تحتاج الفحص الذي سيعبرنا الـ airgap من يتم عملية
 تحويل الطاقة وهو يتكون من الحث 2 في مرتبة

- $I_c \rightarrow$ active component or Core Current
 $I_m \rightarrow$ magnetizing current

$$I_c = I_o \cos \phi_{n.L}$$

$$I_m = I_o \sin \phi_{n.L}$$

$$I_o = \sqrt{I_c^2 + I_m^2}$$

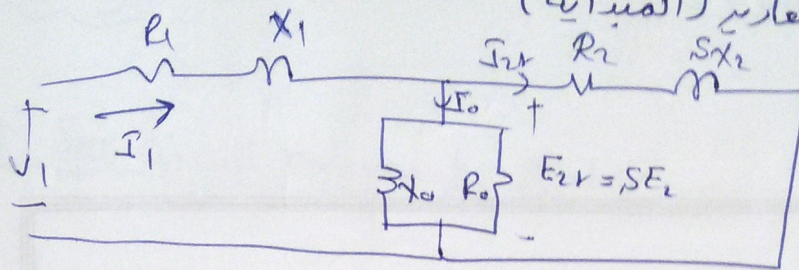
A

- $X_o \rightarrow$ (في X_m في أول) عمل الفحص الناتج من الطول
 $R_o \rightarrow$ (في R_c في أول) عمل الفحص الناتج من الطول
 $I_c \rightarrow$ (في I_m في أول) عمل الفحص الناتج من الطول

(11)

تعديل شكل الدائرة المكافئة *

دس الدائرة العارسة (المبدئية)



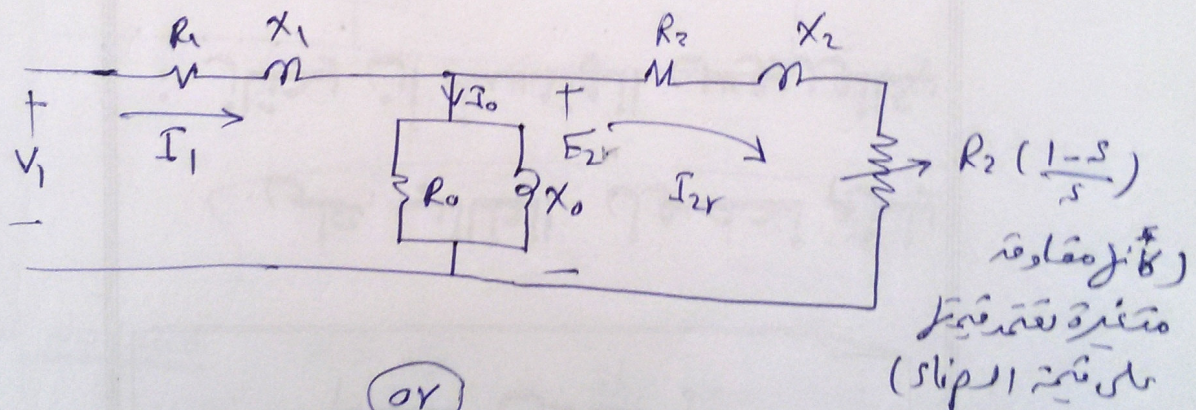
$$\therefore I_{2r} = \frac{S E_2}{\sqrt{R_2^2 + (S X_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S}\right)^2 + X_2^2}}$$

قسما
على S بسط ومقام

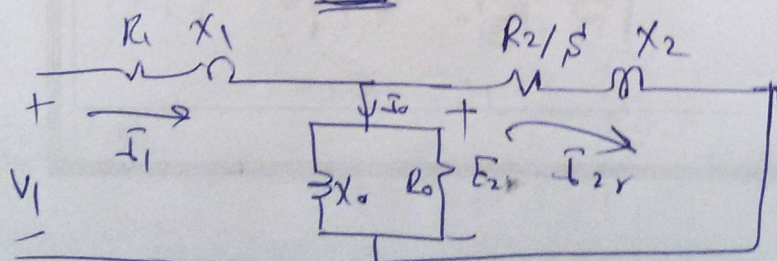
(2) and $\frac{R_2}{S} = R_2 + \frac{R_2}{S} - R_2$ كأننا زدنا R_2 على R_2

$$\frac{R_2}{2} = R_2 + R_2 \left(\frac{1}{S} - 1 \right) = R_2 + R_2 \left(\frac{1-S}{S} \right)$$

يمكن وضع الدائرة المكافئة كالآتي كأنه مقاومة الدوتر بقية جزأته جزء
لا يعتمد على slip وجزء يعتمد عليه (وهذا الحقيقة تقابل للدائرة مشأكت)

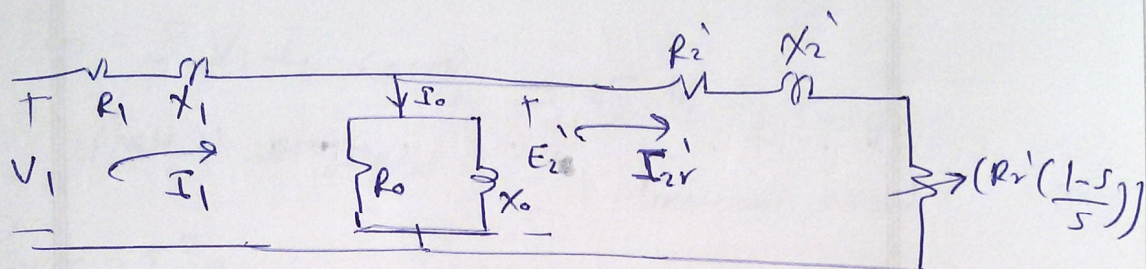


OR

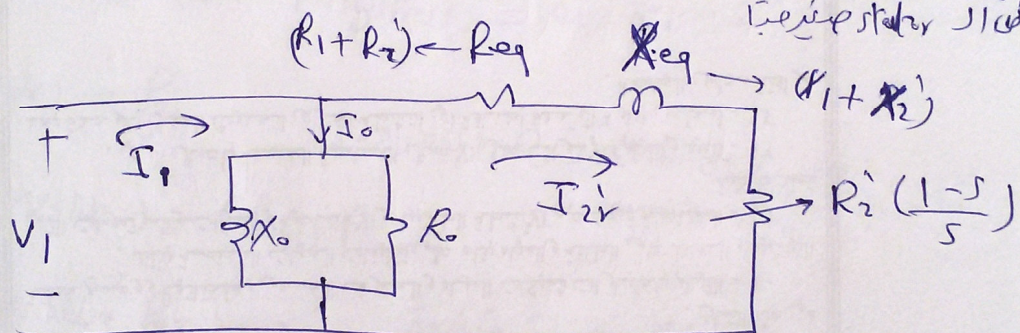


شكل المعامل مع الدائرة المكافئة للمحرك هنا يحتاج نراه من مكان واحد
إما stator أو rotor. هنا يحتاج لعمل (Refering):

① → exact Equ. circuit referred to stator



② → approximate Equ. circuit referred to stator



أيضاً يمكن إعتبار drop V في stator صغيراً

للتاكيد

at No load $N \approx N_s \therefore \text{slip} = 0 \therefore s = 0$

$$\therefore \left(R_2' \left(\frac{1-s}{s} \right) \right) \rightarrow R_2' \left(\frac{1}{0} \right) = \frac{R_2'}{0} = \infty$$

أي تأثير مفتوحة. (o.c) ←

at stand still

$$N = 0 \therefore s = 1$$

$$\therefore R_2' \left(\frac{1-s}{s} \right) \rightarrow R_2' \left(\frac{1-1}{1} \right) = 0$$

أي تأثير (s.c) ←

1. approximate تقدير التعامل مع الممرات الحثية بالدائرة الـ

(*) توزيع القدرة داخل الآلة
 $P_{in(stator)} = 3 V_1 I_1 \cos \phi_1$, where V_1 : phase voltage
 3-ph لثلاث

$$V_{ph} = \frac{V_{Line}}{\sqrt{3}}$$

$$P_{in} = 3 V_1 I_1 \cos \phi_1 = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi_1$$

للمعط حثي الـ phase للمعط حثي الـ line

$$P_{cu1} = 3 I_1^2 R_1 \rightarrow$$

المقاومة في الـ stator (Copper loss in stator)

$$P_{iron} = P_{eddy current} + P_{hysteresis} =$$

قيمة ثابتة معروفة

$$P_{in(rotor)} = P_g$$

القدرة الداخلة للدورن الموجودة من الـ air gap

$$P_g = P_{in(stator)} - (P_{cu1} + P_{iron})$$

$$P_{cu2} = 3 I_2^2 R_2 \rightarrow$$

المقاومة في الـ rotor (Copper loss in rotor)

$$P_m = 3 I_2^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right) \rightarrow P_{mech.}$$

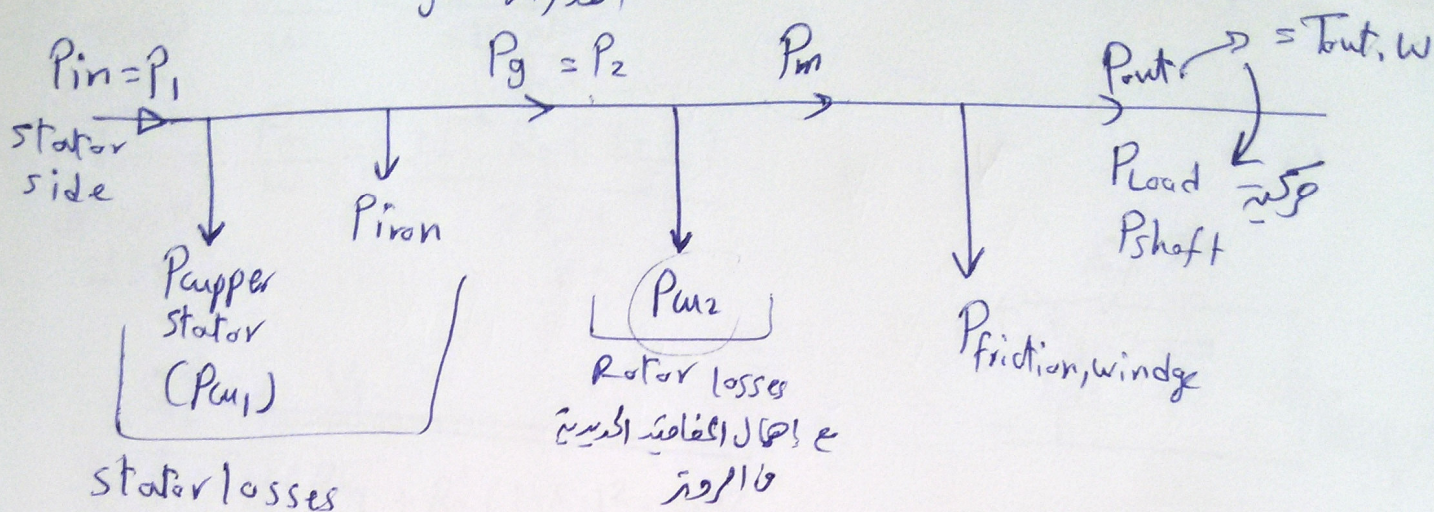
القدرة المتحولة إلى القدرة ميكانيكية داخل الآلة لـ

$$P_{out} = P_{load} = P_{shaft} = P_m - P_{friction, windage.}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

* مخطط القدرة في المحرك الحثي *

القدرة في الهواء



1) Relation between Power

$$P_{in} = 3 V_1 I_1 \cos \phi_1 \quad \checkmark$$

$$P_2 = P_g = P_{in} - (\text{stator losses})$$

$$\therefore P_2 = P_{in} - (P_{cu1} + P_{iron}) \quad \checkmark$$

$$P_2 = P_m + P_{cu2} = 3 I_2^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right) + 3 I_2^2 R_2$$

$$\therefore P_2 = \left(3 I_2^2 R_2 \frac{1}{s} \right) = P_g$$

$$\therefore P_g = \frac{P_{cu2}}{s} \quad \checkmark$$

$$\boxed{P_{cu2} = s P_g = s P_2} \quad \rightarrow \textcircled{1}$$

$$\therefore P_m = P_2 - P_{cu2} = P_2 - s P_2 = P_2 (1-s)$$

$$\boxed{P_m = P_g (1-s)} \quad \rightarrow \textcircled{2} \quad \checkmark$$

$$P_{out} = P_m - P_{friction}$$

Torque - Speed characteristics of 2-ph TM

①

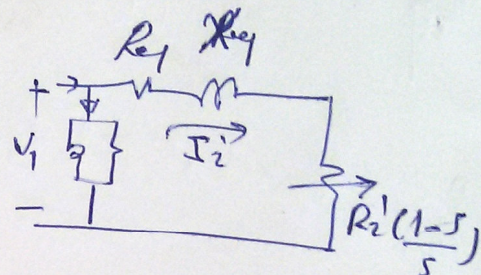
$$T_{sh} = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{P_{out}}{2\pi \frac{N}{60}}$$

تخرج الطاقة / السرعة

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{3 I_2'^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right)}{2\pi \frac{N}{60}}$$

الطاقة الداخلة / السرعة

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{(R_{eq} + R_2' \frac{1-s}{s})^2 + X_{eq}^2}}$$



$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2' + R_2' \frac{1-s}{s})^2 + X_{eq}^2}} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

\downarrow
 $\frac{R_2'}{s}$

$$T_m = \frac{3}{\omega} \cdot \frac{V_1^2 R_2' \left(\frac{1-s}{s}\right)}{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

بالقوس من التيار في معادلة T_m

$$\therefore Ns(1-s) = N$$

$$\therefore \omega = \omega_s(1-s)$$

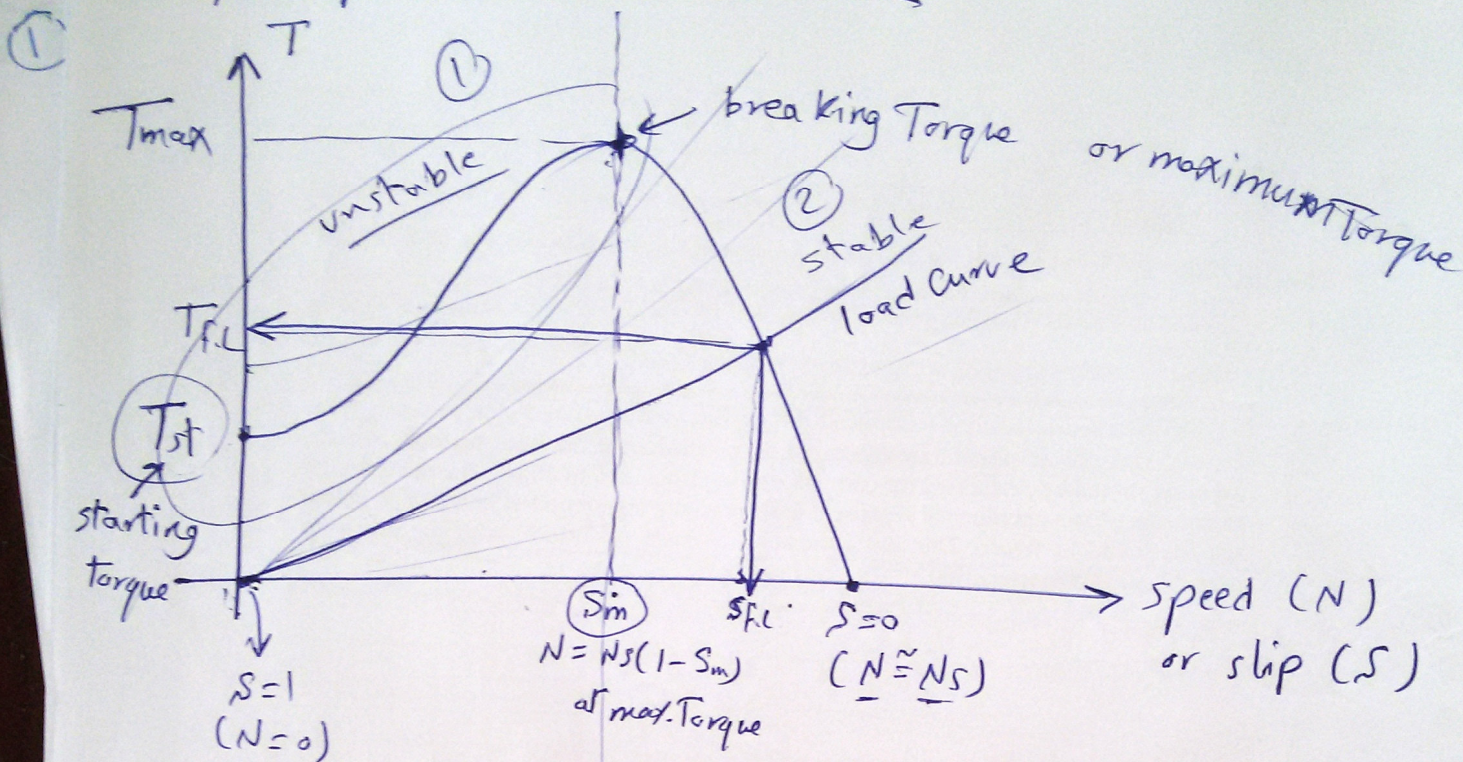
$$\text{where } \frac{2\pi N_s}{60} = \omega_s$$

$$T_m = \frac{3}{\omega_s(1-s)} \cdot \frac{V_1^2 R_2' \left(\frac{1-s}{s}\right)}{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

$$T_m = \frac{3}{\omega_s} \cdot \frac{V_1^2 R_2' / s}{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

العلاقة العزم الناتج دالة بالسرعة كما ترى

Torque-Speed chrs of 3-ph I.M



$$\omega_s = \frac{2\pi N_s}{60} \rightarrow \frac{120 f_s}{P}$$